



生命即流：从 NMT 实证到“生命 = f(环境, t)”的流体动力学阐释

许越

1. 中关村旭月非损伤微测技术产业联盟，中国，北京 100080
2. NMT 国际联盟，南迪尔菲尔德，美国马萨诸塞州 01373
3. 旭月（北京）科技有限公司，中国，北京 100080
4. 美国扬格公司，南迪尔菲尔德，美国马萨诸塞州 01373

通讯作者：许越，jeff@xuyue.net

摘要

本文基于笔者提出的“生命即环境”哲学思想及其形式化表达“生命 = f(环境, t)”，借助非损伤微测技术 (NMT) 对生命 - 环境界面的离子分子流动进行实证研究，进一步提出“生命即流”的哲学命题。文章从 NMT 的技术原理出发，论证离子分子流动是生命活动的基本表征，进而揭示“流”作为连接生命与环境的本质媒介的哲学意涵。通过考察从细胞到生态系统不同生命层次的流动现象，本文构建了“流”的统一性解释框架，并将“生命 = f(环境, t)”重新诠释为生命在时间维度上与环境进行物质 - 能量 - 信息交换的流变过程。这一研究为理解生命本质提供了新的视角，也为“天人合一”的古老智慧奠定了现代科学基础。

关键词：生命即流；生命 = f(环境, t)；非损伤微测技术；活体功能组学；离子分子组学；天人合一

1. 引言：从“生命即环境”到“生命即流”

人类对生命本质的追问贯穿整个思想史。中国古代哲学以“天人合一”概括生命与自然的统一关系，认为人与天地万物本为一体，通过“气”的流动相互贯通。这一直觉洞见虽深刻，却长期停留于哲学思辨层面，未能转化为可验证、可量化的科学理论。

笔者提出的“生命即环境”哲学思想，首次将这一古老智慧与现代生命科学相结合，并以数学公式“生命 = f(环境, t)”加以形式化表达。该公式表明：生命系统的状态是其环境与时间的函数，生命并非孤立实体，而是在与环境的持续相互作用中得以定义和维持。这一思想框架的突破性在于：它将研究焦点从生命“是什么”转向生命“如何运作”，从静态结构转向动态过程。

然而，“相互作用”本身仍是一个抽象概念。生命与环境究竟通过何种媒介、以何种方式相互作用？本文认为，这一问题的答案在于“流”——离子流、分子流、能量流、信息流。生命本质上是一个流动的系统：物质在流动中代谢，能量在流动中转换，信息在流动中传递。没有流动，就没有生命。



测样咨询

非损伤微测技术 (Non-invasive Micro-test Technology, NMT) 的出现, 使“流”的实时、原位、定量测量成为可能。该技术能够在不损伤活体样品的前提下, 检测进出生物体的离子和小分子流速, 从而将抽象的“相互作用”转化为可观测、可量化的“流”数据。正是 NMT 的技术突破, 使“生命即流”的哲学命题获得了科学实证的基础。

本文旨在以 NMT 技术为切入点, 系统阐述“生命即流”的哲学内涵, 论证“流”是生命活动的基本表征, 并探讨这一概念在不同生命层次的表现形式, 最终将“生命=f(环境, t)”公式重新诠释为生命的流体动力学模型。

2. NMT 技术: 捕捉生命之流的科学工具

2.1 技术原理: 从浓度梯度到流速测量

非损伤微测技术的核心原理基于电化学检测和 Fick 第一扩散定律。技术系统通过计算机控制, 将选择性离子/分子微电极精确地定位在距被测样品表面数微米处, 在两点之间进行往复测量, 获得两点间的浓度差(ΔC)和两点距离(Δx), 进而根据 Fick 第一扩散定律计算出待测离子或分子的流动速率和方向:

$$J = -D (dc/dx)$$

其中, J 为待测离子或分子的流速 (单位: $\text{mol}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), D 为自扩散系数, dc/dx 为浓度梯度。

这一测量方式的关键优势在于其“非损伤性”: 电极不接触、不破坏样品, 在维持生命体完整性和生理状态的前提下, 实时捕捉其与环境界面的物质交换过程。与传统的破坏性取样、体外分析方法相比, NMT 所获得的数据真正反映了生命体在其自然状态下的活动。

回顾 NMT 的发展历程, 从 Lionel Jaffe 的振荡电极概念, 到笔者将其引入国内并完成“引进、消化、吸收、再创新”的产业化进程, NMT 已从锦上添花的可有可无技术, 发展成为生理功能验证的必不可少技术, 再到今天揭示生命本质的主流技术。这一方面证明了 NMT 技术的发展契合了世界生命科学发展的客观规律和主流趋势, 另一方面也为验证中国人“天人合一”哲学思想提供了现代科学实验证据。

2.2 可检测指标与生物学意义

NMT 可检测的指标涵盖多种离子和小分子, 包括 Ca^{2+} 、 H^{+} 、 K^{+} 、 Na^{+} 、 Cl^{-} 、 NH_4^{+} 、 NO_3^{-} 、 Mg^{2+} 、 Cd^{2+} 等离子, 以及 O_2 、 H_2O_2 、IAA (生长素) 等分子。这些指标几乎涵盖了生命活动的主要方面:

- Ca^{2+} 流: 作为细胞内最重要的第二信使, Ca^{2+} 流动参与信号转导、肌肉收缩、神经递质释放等过程
- H^{+} 流: 反映质子泵活性、跨膜 pH 梯度及能量代谢状态
- $\text{K}^{+}/\text{Na}^{+}$ 流: 表征细胞兴奋性、渗透压调节及盐胁迫响应
- $\text{NH}_4^{+}/\text{NO}_3^{-}$ 流: 指示植物氮素吸收效率
- O_2 流: 直接反映呼吸代谢活性
- H_2O_2 流: 作为活性氧信号分子, 参与胁迫响应和发育调控

通过同步检测多种离子分子的流动, NMT 能够绘制出生命体与环境相互作用的动态图谱, 即“活体功能组学”(离子分子组学 imOmics) 数据。



2.3 从技术数据到哲学洞见

NMT 所提供的不仅是科学数据，更是对生命本质的直观呈现。当研究者通过 NMT 系统实时观察到逆境胁迫下根尖 Ca^{2+} 流的瞬时激增、神经细胞去极化时 K^+ 外流的变化、或病原菌感染时 H_2O_2 流的空间分布，他们实际上是在目睹“生命之流”的具体展现。

这种观察揭示了一个根本事实：生命体并非边界清晰的实体，而是一系列流动过程的节点。细胞膜不是隔离内外的壁垒，而是调控流动的界面；器官不是静态的结构，而是流动的模式；整个生命体，则是在时间之流中维持自身有序结构的耗散系统。正如 NMT 技术所捕捉的那样，生命每分钟、每秒都在与环境进行着物质和能量的交换——流入与流出、吸收与释放，构成了生命活动的基本节律。

由此，NMT 不仅是技术工具，更成为哲学思考的媒介：它将“生命即环境”的抽象命题，转化为“生命即流”的可视化实证。

3 “生命 =f(环境, t)” 的流体动力学诠释

3.1 公式的再解读：状态函数与流动过程

笔者提出的“生命 =f(环境, t)”公式，将生命状态表达为环境变量和时间的函数。这一形式化表达具有深刻的科学哲学意涵：它意味着生命不是一个自足实体，而是由其与环境的关系所定义。

从流体动力学的视角，我们可以对这一公式进行重新诠释。设生命系统 L 在时刻 t 的状态由其内部物质组成和分布决定，而系统与环境之间的物质交换速率 $J(t)$ 正是这一状态变化的驱动力。那么，生命状态的演化可由以下方程描述：

$$dL/dt = J_{in}(t) - J_{out}(t) + P(t)$$

其中， J_{in} 为流入速率， J_{out} 为流出速率，P 为系统内部的生产 / 消耗速率。这一方程表明：生命的动态变化，本质上是各种“流”的代数和。

换言之，“生命 =f(环境, t)”中的函数 f，其具体内容正是由各种离子分子流所构成的动态网络。环境通过调节流入流出的速率影响生命状态，生命则通过主动调控这些流动来适应环境并维持自身稳态。f 不是一个黑箱，而是可测量、可量化的流动过程的总和。

3.2 流作为生命 - 环境相互作用的本质媒介

是什么在“流”中流动？从 NMT 的视角看，是离子和分子——构成世界万物基本粒子。生命体与非生命环境均由相同的离子分子组成，区别仅在于这些离子分子在生命系统中呈现出高度有序的流动模式。

这种有序流动具有三个基本特征：

第一，方向性。生命系统中的流不是布朗运动式的随机扩散，而是具有明确方向的矢量。 Ca^{2+} 的内流、 H^+ 的外排、 K^+ 的跨膜运输，都指向特定的生理功能。NMT 测量的核心参数正是流速的矢量——大小与方向。



第二，节律性。生命之流呈现时间上的节律模式。心跳的周期性泵血、呼吸的节律性换气、细胞信号振荡，都是流动节律的表现。NMT 的高时间分辨率（秒级）使其能够捕捉这种动态节律。

第三，调控性。生命体并非被动承受流动，而是主动调控流动。离子通道的开关、转运蛋白的活性调节、细胞膜电位的控制，都是生命对“流”的主动干预。这种调控能力，正是生命区别于非生命的关键所在。

由此，我们可以说：生命就是能够主动调控自身与环境之间物质 - 能量 - 信息流动的系统。流动是生命的存在方式，调控是生命的本质特征。

4 “流”在生命诸层次的体现

“流”的概念并非局限于分子层面，而是在从细胞到生态系统的各个生命层次都有所体现。每一层次都有其特定的流动形式，共同构成一幅“生命即流”的全景图。

4.1 细胞层次：跨膜离子流与信号转导

在细胞层次，流主要表现为跨膜离子和小分子运输。细胞膜作为半透性屏障，调控着内外之间的物质交换。NMT 技术在细胞层次的应用揭示了多种重要的流动现象：

在植物细胞中，逆境胁迫（如盐碱、干旱、低温）会引发即时的 Ca^{2+} 内流，作为细胞感知胁迫并启动适应反应的初始信号。这一 Ca^{2+} 流的方向、幅度和持续时间编码了特定的胁迫信息，形成所谓的“钙信号签名”。随后激活的 H^+ -ATPase 则通过 H^+ 外排调节膜电位和胞内 pH，为后续响应提供驱动力。

在动物细胞中，神经递质释放触发突触后膜的离子流，产生兴奋性或抑制性突触后电位；心肌细胞的节律性收缩则依赖于电压门控离子通道所介导的周期性 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 流动。可以说，细胞的生命活动，就是各种离子分子流动的交响乐。

4.2 组织层次：细胞间通讯与协同流动

当细胞构成组织，流动的形式也从跨膜运输扩展到细胞间通讯。植物细胞通过胞间连丝实现细胞间的物质交换，动物细胞则通过间隙连接进行离子和小分子的直接传递。

以植物根系为例，根尖分生区、伸长区和成熟区的细胞具有不同的离子流动模式，共同完成养分吸收和运输功能。NMT 研究发现，在缺氮条件下，根系局部区域的 NO_3^- 内流显著增强，同时伴随 H^+ 流的相应变化，表明细胞之间通过流动模式的分工与协同，实现对环境变化的整体响应。

在动物组织中，血管内皮细胞通过调节一氧化氮（NO）的合成和释放，控制血管平滑肌的舒张与收缩，从而调节血液流向。这一过程中，NO 作为流动的信号分子，将内皮细胞的信息传递给平滑肌细胞，实现了组织层次的功能整合。

4.3 个体层次：物质循环与能量流动

在完整的生物个体层次，流表现为贯穿全身的物质循环和能量流动。动物的循环系统、呼吸系统、消化系



统，本质上都是为维持特定流动而设计的器官系统。

血液循环将 O_2 和营养物质输送到全身各组织，同时带走 CO_2 和代谢废物——这是物质流；呼吸过程中 O_2 从外界进入血液、 CO_2 从血液排向外界——这是气体交换流；食物在消化道中被分解吸收，未被吸收的残渣排出体外——这是营养流。这些流动相互关联、相互协调，共同维持个体的生命活动。

植物虽然没有循环系统，但通过木质部和韧皮部实现着类似的功能。木质部将根系吸收的水分和无机盐向上运输至叶片，韧皮部则将叶片光合作用产生的有机物分配到各器官。蒸腾作用产生的蒸腾流驱动着水分的上升，而伴随水分流动的还有各种离子、激素和信号分子。NMT 在叶片气孔、根尖成熟区等部位测得的离子流动，正是这一庞大流动系统的微观表现。

4.4 生态系统层次：生物地球化学循环

将视野扩展至生态系统，流表现为生物地球化学循环。碳循环、氮循环、水循环、磷循环等，都是元素和化合物在生物与非生物环境之间的流动过程。这些流动连接着生产者、消费者、分解者与非生物环境，构成了生态系统的功能基础。

有趣的是，NMT 在微观层次测量的离子分子流，与生态系统的宏观循环遵循着相同的物理和化学原理。植物根际的 NO_3^- 吸收速率，经过时间和空间的积分，最终转化为生态系统氮循环的部分通量；单个叶片气孔的 O_2 和 CO_2 交换，累积起来就是生态系统的光合生产力和呼吸消耗。

微观的流动汇聚成宏观的循环——这正是“生命即流”在生态系统层次的体现。生命不是孤岛，而是嵌入地球化学循环中的流动节点。

4.5 跨层次统一：流作为生命的共同语言

纵观从细胞到生态系统的各个层次，我们发现“流”提供了一个统一的描述语言。不同层次的生命现象，都可以通过流动的速率、方向、节律和调控来刻画：

- 细胞层次：跨膜离子流 ($10^{-12} \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 量级)
- 组织层次：细胞间通讯流、局部运输流
- 个体层次：血液循环、蒸腾流（宏观流动）
- 生态系统层次：生物地球化学循环（全球尺度流动）

这些不同尺度的流动并非彼此孤立，而是通过“嵌套”和“整合”相互关联。微观的跨膜流动构成宏观的组织功能，而宏观的环境变化又通过调节微观流动来影响生命活动。生命就是这样一个多尺度流动的层级系统。

笔者提出的“活体功能组学”（即：离子分子组学 imOmics），正是试图建立一种跨层次的统一语言，以离子分子流为核心概念，连接基因、蛋白质、细胞、组织、个体与环境。这一学科方向的深层哲学意涵在于：它揭示了流作为生命共同语言的本质地位。



5 “生命即流”的哲学内涵与科学意义

5.1 对传统生命观的超越

传统生命观倾向于将生命视为由特定物质（如蛋白质、核酸）构成的实体，追问“生命是什么”。这种实体论思维虽然推动了分子生物学的巨大进步，但也面临根本性困境：无论将生命还原到何种物质层次，都无法找到那个被称为“生命”的实体。

“生命即流”的命题提供了一种超越实体论的思路。它不追问“生命是什么”，而是描述“生命如何运作”。生命不是某种物质，而是物质流动的特定组织形式；不是静态结构，而是动态过程；不是孤立实体，而是与环境相互作用的开放系统。正如赫拉克利特所言“人不能两次踏进同一条河流”，我们同样可以说：人不能两次拥有相同的生命状态，因为生命本身就是流动。

这种流动观与中国传统哲学有着深刻共鸣。庄子云“人之生，气之聚也。聚则为生，散则为死”，以“气”的聚散流动解释生死。中医理论以“气血流通”为健康之本，“不通则痛”为疾病之源。“生命即流”的现代命题，可以视为这一古老智慧的科学化表达。

5.2 从中心法则到“新生物学范式”

分子生物学的中心法则（DNA → RNA → 蛋白质）描绘了遗传信息的流动方向，为理解生命的信息基础提供了框架。然而，这一框架主要关注细胞内信息的编码和表达，未能充分揭示生命体作为开放系统如何与环境进行实时交换。

笔者提出的“新生物学范式”对中心法则进行了重要补充：

DNA → RNA → 蛋白质 → 离子分子组 → 表型

在这一扩展范式中，“离子分子组”（imOme）被定义为“在特定时间和条件下，生物体及其组成部分与外部环境之间所有离子和分子交换活动的动态总和”。它位于蛋白质与表型之间，成为连接微观分子事件与宏观生命表现的桥梁。

这一范式转换的深刻意义在于：它揭示了从基因到表型的路径并非单向线性决定，而是通过离子分子组的动态流动，将遗传信息与环境信号整合为具体的生理响应。蛋白质作为基因表达的产物，其功能正是在调控离子分子流动中得以实现。没有流动，蛋白质只是静态分子；有了流动，蛋白质才成为生命活动的执行者。

5.3 “天人合一”的现代科学基础

“天人合一”作为中国哲学的核心观念，长期以来主要停留在哲学和伦理学层面，缺乏与现代科学的有效对接。“生命即环境”和“生命即流”的提出，为这一古老智慧奠定了科学基础。

科学基础之一：物质同一性。生命体与环境均由相同的离子分子构成，不存在本质性的“生命物质”与“非生命物质”之分。构成细胞的 Ca^{2+} 、 K^+ ，与土壤、海水中的 Ca^{2+} 、 K^+ 是同一物质。



订阅本刊

科学基础之二：流动连续性。生命体与环境之间的边界是流动的界面，而非绝对的隔阂。NMT 测量的离子分子流，正是穿越这一界面的物质运动。生命体每时每刻都在与环境交换物质，这种交换不是偶然的补充，而是生命存在的必要条件。

科学基础之三：调控互动性。生命体不是被动地接受环境影响，而是主动调控与环境之间的流动。这种调控能力既源于遗传信息（DNA），又在与环境信号的互动中实时调整（离子分子组）。生命塑造环境，环境影响生命——二者在流动中相互渗透、相互生成。

由此，“天人合一”不再是玄学式的直觉，而是可以通过 NMT 等技术进行实证研究的科学命题。全球离子分子组计划（GiP）的推进，正是要在全球尺度上收集生命 - 环境相互作用的流动数据，为“天人合一”提供大规模的科学证据。

6 结论与展望

本文以笔者提出的“生命即环境”哲学思想为基础，借助非损伤微测技术对离子分子流动的实证研究，提出了“生命即流”的哲学命题。研究得出以下结论：

第一，NMT 技术通过对跨膜离子分子流速的实时、原位、定量测量，将“生命 - 环境相互作用”这一抽象概念转化为可观测、可量化的科学数据，为“生命即流”命题提供了技术支撑。





测样咨询

第二，“生命 = f(环境, t)”公式可从流体动力学角度重新诠释：生命状态的变化是流入、流出与内部代谢的代数和，函数 f 的具体内容正是由各种离子分子流构成的动态网络。

第三，“流”的概念具有跨层次的统一性，从细胞跨膜离子流到生态系统生物地球化学循环，皆可用流动的速率、方向、节律和调控来描述。不同层次的流动相互嵌套、相互整合，构成生命的多尺度流动系统。

第四，“生命即流”的命题超越了传统实体论生命观，与“气聚为生”的中国哲学智慧相呼应，并为“天人合一”提供了物质同一性、流动连续性、调控互动性三方面的科学基础。

展望未来，随着全球离子分子组计划 (GiP) 的推进和 NMT 技术的普及，我们将能够积累大规模、标准化的生命 - 环境流动数据。结合人工智能和大数据分析，这些数据有望揭示不同物种、不同环境条件下离子分子流动的规律与模式，使生命科学从“描述现象”真正走向“预测与调控”。届时，“上医治未病”的理想、“天人合一”的智慧，将获得可操作、可验证的科学内涵。

“生命即流”——这不仅是一个哲学命题，更是对生命本质的科学洞察。在流动中，生命维持自身的有序；在流动中，生命适应环境的变化；在流动中，生命与天地万物相通。捕捉这流动、理解这流动、调控这流动，正是 21 世纪生命科学的使命与机遇。

参考文献：

- [1] 许越. 生命即环境——“天人合一”的 NMT 诠释与历史机遇 [J]. NMT 通讯, 2024, 2(5): 103-104. doi:10.5281/zenodo.12602415
- [2] 许越. 生命 = f(环境, t): 从传统智慧到新生物学范式 [J/OL]. NMT 通讯, 预印本. doi:10.5281/zenodo.17809686
- [3] 《NMT 通讯》编辑部. 科研结合点专题 [J]. NMT 通讯, 2023, 1(3).
- [4] 许越. 从 PC: 膜片钳到 NMT: 非损伤微测技术——活体研究智能传感技术的演进 (2) 时间与空间 [J/OL]. 旭月研究院, 2018.
- [5] 丁亚男, 许越. 非损伤微测技术及其在生物医学研究中的应用 [J]. 物理, 2007, 36(7): 548-558.
- [6] 许越. NMT 非损伤微测技术 (NMT) 白皮书 [D]. doi:10.5281/zenodo.11518221
- [7] 许越 等. 生物离子分子组学计划 (Bio-imOmics Project: BiP) [J]. NMT 通讯, 2023(06):44-50. doi:10.5281/zenodo.8357567
- [8] Liu B, Zhang J, Ye J. Noninvasive micro-test technology: monitoring ion and molecular flow in plants[J]. Trends Plant Sci. 2023 Jan;28(1):123-124. doi:10.1016/j.tplants.2022.09.001
- [9] Sun K, Liu Y, Pan Y, et al. Non-invasive micro-test technology and applications[J]. Biophysical Reports, 2025. doi:10.52601/bpr.2024.240009
- [10] 印莉萍, 上官宇, 许越. 非损伤性扫描离子选择电极技术及其在高等植物研究中的应用 [J]. 自然科学进展, 2006, 16(3):262-266.